

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2013年2月7日(07.02.2013)



(10) 国際公開番号  
WO 2013/018197 A1

- (51) 国際特許分類:  
G01K 11/12 (2006.01) H01L 21/205 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/067678
- (22) 国際出願日: 2011年8月2日(02.08.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 有限会社ワイ・システムズ(YSystems Ltd.) [JP/JP]; 〒7710134 徳島県徳島市川内町平石住吉209-5 徳島健康科学総合センター Tokushima (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): イーヴ ラクロワ(Yves Lacroix) [CA/JP]; 〒7700912 徳島県徳島市東新町2丁目38の1 アルファステイツ新町1502号室 Tokushima (JP).
- (74) 代理人: 野▲崎▼ 照夫, 外(NOZAKI, Teruo et al.); 〒1700013 東京都豊島区東池袋1-2-1-1 オーク池袋ビルディング3F Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,

BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告(条約第21条(3))
- 補正された請求の範囲(条約第19条(1))

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR MEASURING TEMPERATURE OF SEMICONDUCTOR LAYER

(54) 発明の名称: 半導体層の温度測定方法および温度測定装置

[図7]

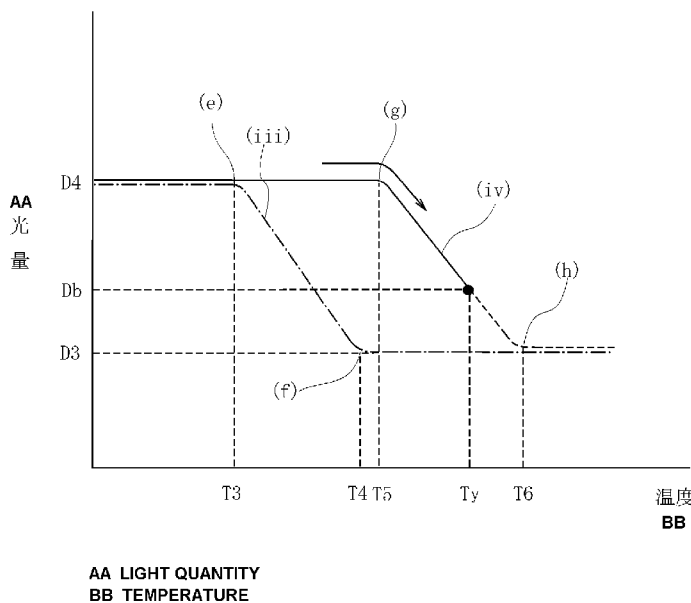


図7

(57) Abstract: [Problem] Provided are a measuring method and a measuring apparatus, whereby a temperature of a semiconductor layer can be directly and highly accurately detected at the time of depositing and film-forming the semiconductor layer. [Solution] First wavelength laser light having light transmissivity attenuate in a first temperature range (T3-T4) and second wavelength laser light having light transmissivity attenuate in a second temperature range (T5-T6) are applied to a semiconductor layer, and light that has passed through the semiconductor layer is received by a light receiving unit. An attenuation range (D4-D3) of the laser light transmissivity can be detected at a time when the temperature of the semiconductor layer is increased and the detection light quantity of the first wavelength laser light is attenuated. After the temperature is increased more and the detection light quantity of the second wavelength laser light exceeds an attenuation start point (g), the temperature of the semiconductor layer can be calculated on the basis of a detection light quantity (Db) at a certain measurement time, and the attenu-

ation range (D4-D3).

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2013/018197 A1



---

【課題】 半導体層を蒸着して成膜する際に、半導体層の温度を直接に高精度に知ることができる測定方法および測定方法を提供する。 【解決手段】 半導体層に対し、第1の温度範囲（ $T_3 - T_4$ ）で光の透過率が減衰する第1の波長のレーザ光と、第2の温度範囲（ $T_5 - T_6$ ）で光の透過率が減衰する第2の波長のレーザ光を照射し、半導体層を透過した光を受光部で受光する。半導体層の温度が上昇し、第1の波長のレーザ光の検知光量が減衰した時点で、レーザ光の透過率の減衰幅（ $D_4 - D_3$ ）を知ることができる。さらに温度が上昇し、第2の波長のレーザ光の検知光量が減衰始点（ $g$ ）を超えた後は、ある測定時の検知光量  $D_b$  と前記減衰幅（ $D_4 - D_3$ ）とから、半導体層の温度を算出することができる。

## 明 細 書

**発明の名称**：半導体層の温度測定方法および温度測定装置

### 技術分野

[0001] 本発明は、発光ダイオードやその他の半導体素子の半導体層を蒸着法により成膜する際に、成膜中または成膜後の半導体層の温度や半導体層の表面粗さなどを測定することができる半導体層の温度測定方法および温度測定装置に関する。

### 背景技術

[0002] AlN、GaAs、GaN、InP、Si、SiCなどの半導体は、蒸着法で形成される。蒸着法としては、化学気相成長法（CVD法）や分子線エピタキシー法（MBE法）などが使用されている。これら蒸着法では、真空状態に設定されたチャンバ内に基板が設置され、この基板上に原料ガスなどの状態で原料分子が供給されて基板の表面に結晶層が堆積されて成膜される。

[0003] この種の蒸着法において、不純物の無い半導体の結晶層を一定の堆積速度で緻密に且つ再現性を有して成膜するには、チャンバ内の基板の温度を正確に制御することが必要である。そのために、基板を加熱するヒータが設けられるとともに、チャンバ内の基板の温度を測定するモニターが設けられ、このモニターで測定された温度に基づいて前記ヒータの加熱温度を制御できるようにしている。

[0004] 以下の特許文献1および特許文献2に記載されているように、従来は、前記モニターとして、基板表面が加熱されて発生する赤外線を監視するパイロメータが使用されている。パイロメータは、チャンバに設けられた窓の外側に設置され、基板の表面や成膜中の半導体層の表面から発せられる赤外線がガラス窓を透過してパイロメータで検出される。しかし、パイロメータによる温度測定には次のような課題がある。

[0005] 加熱されている基板表面から発せられる赤外線が成膜途中の半導体層の内

部を通過するとき、半導体層を通過する光と半導体層の内部で反射される光とが干渉して、パイロメータの検出出力が細かく変動し、しかもこの干渉の度合いは成膜される半導体層の膜厚の変動に追従して変化する。この問題点に関しては、従来は、チャンバの外に発光装置を配置し、チャンバのガラス窓を通じて成膜中の半導体層にレーザ光を当て、半導体層を透過したレーザ光をモニターすることで解決している。半導体層を通過するレーザ光と半導体層の内部で反射されるレーザ光も赤外線と同様に干渉するため、レーザ光をモニターしたときの干渉による出力変動を用いて、パイロメータで検出される赤外線の干渉を相殺しまたは低減する較正が可能である。

[0006] しかし、パイロメータで検出される赤外線の干渉が較正されたとしても、パイロメータによる温度測定は、基板の表面から離れた場所で行われ、一般的にはチャンバのガラス窓の外側で行われる。実際に発熱している基板の表面と測定箇所との間に長い空間が介在し、さらにはガラス窓が介在しているために、パイロメータによって測定される温度と、基板表面の実際の温度との間に誤差が生じるのを避けることができない。

[0007] また、基板の表面において成長中の半導体層が透明な場合には、パイロメータが透明な半導体層を透して基板の表面の温度を測定することになってしまう。このようにパイロメータを使用した測定方法によって、成膜中の半導体層そのものの温度を直接に正確に知ることは難しい。

[0008] また、以下の特許文献1には、基板の裏側の温度を測定する熱電対モニターを使用することが記載されている。しかし、熱電対モニターは基板の裏側に置かれるために、実際の基板表面の温度を正確に測定することはできない。また熱電対モニターは熱容量が大きいために、チャンバ内の温度変化への追従性が悪く、基板温度を正確に知ることはできない。

[0009] さらに、以下の特許文献3には、ハロゲンランプからの光を被測定体のウエハに照射し、光の透過率と光の反射率および光の波長から、ウエハの表面温度を算出する技術が開示されている。

[0010] しかし、光の透過率と反射率は、ウエハの表面の粗さなどの種々の要因に

よって大きく変化するため、単一の光の透過率と反射率のみによって、被測定物の温度を高精度に測定するのは困難である。

## 先行技術文献

### 特許文献

- [0011] 特許文献1：特開2001-289714号公報  
特許文献2：特開2002-367907号公報  
特許文献3：特開2002-122480号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

- [0012] 本発明は上記従来課題を解決するものであり、基板表面で成膜されている途中の半導体層の温度、または成膜後の半導体層の温度を高精度に検出でき、高品質の半導体層を成膜することができる半導体層の温度測定方法および温度測定装置を提供することを目的としている。
- [0013] また本発明は、半導体層の光の透過量の変化を測定して、半導体層の温度変化を即時に求めることが可能な半導体層の温度測定方法および温度測定装置を提供することを目的としている。
- [0014] さらに本発明は、異なる波長の光を半導体層に与えたときの検知光量の変化に基づいて、検知光量の変動が半導体層の温度変化によるものであるかそれ以外の要因によるものであるかを判定することができる半導体層の温度測定方法および温度測定装置を提供することを目的としている。

#### 課題を解決するための手段

- [0015] 第1の本発明は、チャンバ内で成膜されている半導体層の温度を測定する温度測定方法において、

半導体層の温度が上昇して第1の範囲の温度になると前記半導体層に対する透過率が減衰する第1の波長の光と、前記半導体層の温度が前記第1の範囲よりも高い第2の範囲になると前記半導体層に対する光の透過率が減衰する第2の波長の光とを使用し、

第1の波長の光と第2の波長を同じ経路に沿って前記半導体層に与えるとともに、前記半導体に対向する光検出装置で前記第1の波長の光と前記第2の波長の光量を検知し、

前記半導体層の温度が前記第1の範囲を超えて上昇して第1の波長の光の検知光量が減衰した後で、さらに第2の波長の光の検知光量が減衰し始めた後の測定時に、その測定時の第2の波長の検知光量と、第1の波長の光の検知光量の減衰幅とから、半導体層の前記第2の範囲内の温度を算出することを特徴とするものである。

[0016] 本発明の温度測定方法では、前記半導体層の前記測定時の温度を、(第2の範囲の極大値の温度) + (第2の範囲の温度差) × { (第2の波長の光の検知光量の減衰始点から測定時までの減衰量) / (第1の波長の光の検知光量の減衰幅) } から算出することができる。

[0017] また、本発明の温度測定方法によって、前記基板上に半導体層が成膜されている途中の前記測定時に得られた第2の波長の光の検知光量と、第1の波長の光の検知光量の減衰幅とから、成膜途中の半導体層の温度を算出して、その温度が前記第2の範囲内の所定値となるように前記基板の加熱温度を制御することが可能である。

[0018] 本発明の温度測定方法は、前記チャンバ内に設けられた透明基板を加熱しながら原料分子を供給して前記基板上に半導体層を成膜し、

前記半導体層の表面に第1の波長の光と第2の波長の光を与え、前記半導体層の表面に対向する前記光検出装置で、前記半導体層の内部を通過する乱反射光と前記半導体層の表面で反射される乱反射光とを検知するものである。

[0019] 本発明の温度測定方法は、半導体層から発せられる赤外線を測定して半導体層の温度を測定する温度変化測定装置を使用し、前記測定時に算出された前記第2の範囲内の温度で、前記温度変化測定装置の測定誤差を較正することもできる。

[0020] 第2の本発明は、チャンバ内で成膜されている半導体層の温度を測定する

温度測定方法において、

半導体層の温度が上昇して第1の範囲の温度になると前記半導体層に対する透過率が減衰する第1の波長の光と、前記半導体層の温度が前記第1の範囲よりも高い第2の範囲になると前記半導体層に対する光の透過率が減衰する第2の波長の光とを使用し、

第1の波長の光と第2の波長を同じ経路に沿って前記半導体層に与えるとともに、前記半導体に対向する光検出装置で前記第1の波長の光と前記第2の波長の光量を検知し、

前記半導体層の温度が前記第1の範囲を超えて上昇して第1の波長の光の検知光量が減衰した後に、第2の波長の光の検知光量を監視し、第2の波長の光の検知光量が変化したら、そのときの第1の波長の光の検知光量の変化を参照して、第2の波長の光の検知光量の変化が、半導体層の温度変化によるものかそれ以外の要因によるものであるかを判定することを特徴とするものである。

[0021] 本発明の温度測定方法は、第2の波長の光の検知光量が変化したときに、第1の波長の光検知光量も変化したら、第2の波長の光の検知光量の変化が、半導体層の温度変化以外の要因によるものであると判定する。

[0022] この場合に、第1の波長の光の検知光量の変化と第2の波長の光の検知光量の変化との少なくとも一方から、半導体層の表面粗さを求めることも可能である。

[0023] そして、本発明の温度測定方法は、第2の波長の光の検知光量が変化しているときに、第1の波長の光の検知光量が変化しないときは、第2の波長の光の検知光量の変化が、半導体層の温度変化によるものであると判定する。

[0024] 本発明の温度測定方法は、前記チャンバ内に設けられた透明基板を加熱しながら原料分子を供給して前記基板上に半導体層を成膜し、

前記半導体層の表面に第1の波長の光と第2の波長の光を与え、前記半導体層の表面に対向する前記光検出装置で、前記半導体層の内部を通過する乱反射光と前記半導体層の表面で反射される乱反射光とを検知するものである

。

[0025] 第3の本発明は、チャンバ内で成膜されている半導体層の温度を測定する温度測定装置において、

半導体層の温度が上昇して第1の範囲の温度になると前記半導体層に対する透過率が減衰する第1の波長の光と、前記半導体層の温度が前記第1の範囲よりも高い第2の範囲になると前記半導体層に対する光の透過率が減衰する第2の波長の光とを与える発光装置と、

第1の波長の光と第2の波長の光を検知する光検出装置とが設けられ、

前記発光装置と前記光検出装置が半導体の表面に対向して、第1の波長の光と第2の波長の光が同じ経路に沿って前記表面に与えられ、前記半導体層の内部を通過する乱反射光と前記表面からの乱反射光とが前記光検出装置で検知され、

前記光検出装置で検知された第1の波長の光の検知光量と第2の波長の光の検知光量とから、前記半導体層の温度を算出する制御装置が設けられていることを特徴とするものである。

[0026] 例えば、本発明の温度測定装置における前記制御装置では、前記半導体層の温度が前記第1の範囲を超えて上昇して第1の波長の光の検知光量が減衰した後で、さらに第2の波長の光の検知光量が減衰し始めた後の測定時に、その測定時の第2の波長の検知光量と、第1の波長の光の検知光量の減衰幅とから、半導体層の前記第2の範囲内での温度が算出される。

[0027] または、前記制御装置では、前記半導体層の温度が前記第1の範囲を超えて上昇して第1の波長の光の検知光量が減衰した後に、第2の波長の光の検知光量を監視し、第2の波長の光の検知光量に変化したら、そのときの第1の波長の光の検知光量の変化を参照して、第2の波長の光の検知光量の変化が、半導体層の温度変化によるものかそれ以外の要因によるものであるが判定される。

[0028] また、前記制御部では、第2の波長の光の検知光量と第1の波長の光の検知光量が共に変化したときに、

第1の波長の光の検知光量の変化と第2の波長の光の検知光量の少なくとも一方から、半導体層の表面粗さが算出される。

### 発明の効果

[0029] 本発明の温度測定方法および温度測定装置では、成膜中または成膜後の半導体層に異なる波長の光を与えることで、半導体層の温度を即時に測定することが可能になる。

[0030] また、異なる波長の光を半導体層に与えたときの検知光量の変化に基づいて、検知光量の変動が半導体層の温度変化によるものであるかそれ以外の要因によるものであるかを判定することが可能である。その結果として、成膜中の半導体層の表面粗さが変化しているか否かを測定したり、さらには表面粗さの大きさを測定することも可能である。

### 図面の簡単な説明

[0031] [図1]成膜装置および本発明の第1の実施の形態の温度測定装置の構造の概略を示す説明図、

[図2]温度測定装置を構成する発光装置の詳細を示す説明図、

[図3]温度測定装置を構成する光検出装置の詳細を示す説明図、

[図4]成膜装置の内部の基板および成膜中または成膜後の半導体層を示す拡大説明図、

[図5]半導体層に与える光の波長と光の透過率と半導体層の温度との関係を示す線図、

[図6]半導体層に与える光の透過量と半導体層の温度との関係を示す線図、

[図7]半導体層に与える2つの波長の光の透過量と半導体層の温度との関係を示す線図、

[図8]半導体層の温度制御を行う際の2つの波長の光の透過率の変化を示す線図、

[図9]半導体層の透過率が、温度変化以外の要因で変化した状態を示す線図、

[図10]半導体層の温度変化に起因して透過率が変化した状態を示す線図、

### 発明を実施するための最良の形態

- [0032] 図1は成膜装置1および本発明の第1の実施の形態である温度測定装置20を示す説明図であり、図2は発光装置の詳細を示し、図3は光検出装置の詳細を示している。
- [0033] 図1には、化学気相成長法（CVD法）や分子線エピタキシー法（MBE法）で半導体層を成膜する成膜装置1が模式図として示されている。
- [0034] 成膜装置1はチャンバ2を有しており、成膜中は内部空間が真空状態に設定される。チャンバ2内にテーブル3が設けられており、このテーブル3に加熱装置であるヒータ3aが内蔵されている。チャンバ2には導入路4が接続されており、半導体層7を成膜するための元素（原料分子）を含む原料ガス5が前記導入路4からテーブル3の表面に与えられ、テーブル3の上に設置された基板6の表面に半導体層7が成膜される。
- [0035] チャンバ2には第1の窓8と第2の窓9が設けられている。第1の窓8と第2の窓9にはガラス板などの透明板が嵌められており、この透明板を通して内部を観察できるが、チャンバ2の内部空間と外部空間が透明板で遮蔽されている。
- [0036] 前記第1の窓8の外側には、温度変化測定装置の一例としてパイロメータ10が設けられている。パイロメータ10は、受光部11と受光部11で受光された受光出力を処理する処理回路部12とを有している。パイロメータ10の受光部11は、第1の窓8の外に設置され、第1の窓8に装着された透明板を介して前記基板6の真上に対向している。受光部11の中心は、基板6の表面の中心から垂直に延びる垂線Lv上に位置しており、受光部11に設けられた受光素子の受光光軸が垂線Lvに沿って前記基板6の表面に向けられている。
- [0037] ヒータ3aによってテーブル3と基板6が加熱されると、テーブル3の表面の熱により発生する赤外線が、透明な基板6および成膜中の半導体層7を透過し、第1の窓8を透過して受光部11に受光される。受光部11で受光された受光出力は処理回路部12に与えられ、受光した赤外線の波長などから基板6の表面温度、正確にはテーブル3の表面温度が測定される。

- [0038] チャンバ2の外には、本発明の実施の形態である温度測定装置20を構成する発光装置21が設けられている。発光装置21は、チャンバ2に設けられた第2の窓9の外側から前記基板6の表面に対向している。
- [0039] 図2に示すように、発光装置21に、第1の波長のレーザ光L1を発する第1のレーザ光源22と、第2の波長のレーザ光L2を発する第2のレーザ光源23が設けられている。第1のレーザ光源22から発せられるレーザ光L1は、コリメートレンズ22aによってコリメート光に変換されてハーフミラー25を透過する。第2の光源23から発せられるレーザ光L2は、コリメートレンズ23aによってコリメート光に変換され、ミラー24で反射されてハーフミラー25に与えられる。
- [0040] 発光装置21では、第1のレーザ光源22と第2のレーザ光源23とが交互に点灯し、第1の波長のレーザ光L1と第2の波長のレーザ光L2が、同じ経路Ldに沿って基板6および半導体層7に交互に与えられる。
- [0041] 前記基板6はサファイアウエハなどの透明な材料で形成されている。ここでの透明とは全光線透過率が80%以上の光学特性を意味しており、好ましくは全光線透過率が95%以上である。図4に示すように、基板6の底面6aは細かな凹凸が形成された乱反射面となっている。半導体層7が光の透過率が高い状態のときは、経路Ldに沿って照射されるレーザ光が半導体層7を透過し、基板6を透過して前記底面6aで乱反射される。底面6aで乱反射した乱反射光R1は、基板6および半導体層7を透過するが、乱反射光R1のうちの垂線Lvに向く成分が前記受光部11で受光される。
- [0042] 経路Ldに沿うレーザ光は、半導体層7の表面7aに対して入射角 $\theta$ で入射するため、表面7aから反射角 $\theta$ で正反射された光は受光部11で受光されることがない。ただし、レーザ光が半導体層7の表面7aで乱反射されると、その乱反射光R2のうちの垂線Lvに向く成分が受光部11で受光される。
- [0043] 前記経路Ldと前記垂線Lvとの成す角度 $\theta$ は0度を超え90度未満である。

前記受光部 11 は、パイロメータ 10 として赤外線を受光するために使用されるとともに、底面 6a と表面 7a で乱反射したレーザ光を受光する光検出装置としても機能している。受光部 11 では、加熱された基板 6 や半導体層 7 から発せられる赤外線と、基板 6 や半導体層 7 で反射されたレーザ光の乱反射光 R1, R2 とが、異なる時刻に交互に検出される。さらに、2つのレーザ光源 22, 23 の点灯のタイミングに合わせて、受光部 11 での受光信号が時分割されて、第 1 の波長のレーザ光 L1 と第 2 の波長のレーザ光 L2 が異なるタイミングで検知される。したがって、受光部 11 では、赤外線および第 1 の波長のレーザ光 L1 と第 2 の波長のレーザ光 L2 とが互いに干渉することなく区別して検知される。

[0044] また、赤外線を受光するパイロメータ 10 の受光部 11 とは別に、レーザ光を受光する光検出装置 16 を設け、受光部 11 と光検出装置 16 を、第 1 の窓 8 の外に並べて配置してもよい。

[0045] この場合の光検出装置 16 は、図 3 に示すように、第 1 の受光素子 13 および第 1 の受光素子 13 に反射光を集光する集光レンズ 13a と、第 2 の受光素子 14 および第 2 の受光素子 14 に反射光を集光する集光レンズ 14a、ならびに波長フィルタ 15 を有するものとして構成できる。この光検出装置 16 では、垂線 Lv に沿って入射した乱反射光 R1, R2 が波長フィルタ 15 により分離され、第 1 の波長のレーザ光 L1 の乱反射光が第 1 の受光素子 13 で受光され、第 2 の波長のレーザ光の乱反射光が第 2 の受光素子 14 で受光される。

[0046] 図 3 に示す光検出装置 16 が使用されているときは、図 2 に示す発光装置 21 において、第 1 のレーザ光源 22 と第 2 のレーザ光源 23 とを同時に連続発光させて使用しても、第 1 の波長のレーザ光 L1 の乱反射光と第 2 の波長のレーザ光 L2 の乱反射光とを波長フィルタ 15 で分離できるため、第 1 の受光素子 13 と第 2 の受光素子 14 とでそれぞれの波長のレーザ光を区別して受光することができる。

[0047] 図 1 に示すように、成膜装置 1 およびパイロメータ 10 ならびに発光装置

21は中央制御装置30によって制御される。中央制御装置30はマイクロコンピュータとメモリなどから構成されている。加熱制御装置31は前記中央制御装置30からの指令を受けてヒータ3aへの通電を制御して、テーブル3の加熱温度をコントロールする。レーザ発光制御装置32は、前記中央制御装置30からの指令を受けて発光装置21をコントロールする。

[0048] パイロメータ10の検出出力は温度検出装置33に与えられる。テーブル3から発せられる赤外線の見知出力は温度検出装置33で検出されて、赤外線の波長などからテーブル3の表面温度が測定され、その温度情報が中央制御装置30に与えられる。また、基板6の底面6aで乱反射されるレーザ光の乱反射光R1および半導体層7の表面7aで乱反射されるレーザ光の乱反射光R2は、受光部11または図3に示す光検出装置16で受光されるが、その検知光量に関する検出出力も温度検出装置33に与えられ、その情報が中央制御装置30に通知される。

[0049] 次に、前記測定装置20を使用した半導体層の温度測定方法の原理を説明する。

[0050] 図1に示す成膜装置1では、ヒータ3aでテーブル3および基板6が加熱された状態で、チャンバ2内に原料ガス5が導入されて、図4に示すように、透明な基板6の表面に半導体層7が成長して行く。

[0051] 基板6の表面に成膜される半導体層7は、発光ダイオードやその他の半導体素子の分子層を形成するためのものであり、例えば、AlN、GaAs、GaN、InP、Si、SiCである。

[0052] これら半導体層における光の透過率は、光の波長と半導体層の温度に依存して変化する。図5は、横軸が半導体層に与える光の波長 $\lambda_x$ を示し、縦軸が半導体層における光の透過率を示している。図5では、同じ半導体層の温度をT1からT6まで段階的に変化させている（ $T1 < T2 < T3 < T4 < T5 < T6$ ）。図5に示すように、半導体層は、同じ波長 $\lambda_x$ の光が与えられているときに、温度が高くなるとその光の透過率が減衰する。また、半導体層の温度を上昇させたときに、どの温度で透過率が減衰するかは、半導体

層に与える光の波長 $\lambda$ に依存する。

[0053] 図6は、本発明の実施の形態の温度測定方法と比較するための比較例として、成膜装置1の基板6の表面に半導体層7が成膜されている過程で、経路Ldに沿って所定の波長 $\lambda_1$ の単一のレーザ光を与える温度測定方法を示している。図6は、横軸が、半導体層7の温度を示し、縦軸が、基板6の底面6aと半導体層7の表面7aで乱反射されたレーザ光が受光部11で受光されるときを検知光量の変化を示している。

[0054] 図6に示す変化線(i)は、半導体層7の表面7aの乱反射光R2などが発生しないほぼ理想的な条件を仮定したときの、半導体層7の温度変化と受光部11での検知光量との関係を示している。

[0055] 変化線(i)で示すように、半導体層7の温度が低いときは、半導体層7の光の透過率が高いために、図4に示す基板6の底面6aで乱反射された乱反射光R1が半導体層7を高い率で透過する。そのため、受光部11で受光されるレーザ光の乱反射光の光量が大きく、検知光量がD2となる。半導体層7の温度が上昇してT1に至ると、半導体層7の光の透過率が低下し始めるため、受光部11で受光される乱反射光の光量がD2から減衰し始める。半導体層7の温度がT2まで上昇すると、半導体層7の光の透過率が最小となり、受光部11で受光される乱反射光の検知光量がD1まで低下する。

[0056] 本明細書では、半導体層7の温度が上昇していくときに、受光部11での乱反射光の検知光量が減少し始める点(a)を減衰始点と呼び、減衰始点(a)における検知光量D2を極大値の検知光量と呼ぶ。また、受光部11での乱反射光の検知光量の減衰が終了したときの点(b)を減衰終点と呼び、減衰終点(b)における検知光量D1を極小値の検知光量と呼ぶ。

[0057] 実際の半導体層7の成膜工程では、基板6および半導体層7の光学特性が温度条件などで変化しやすく、また半導体層7の表面7aの面の向きや面粗度も変化しやすい。さらにチャンバ2内に基板6を設置するとき、基板6の表面6aと垂線Lvとの対向角度にも誤差が生じやすい。これらの種々の条件によって、レーザ光の乱反射特性が変動すると、同じ波長 $\lambda_1$ のレーザ

光を使用して同じ半導体層 7 の光の透過率を観測したときであっても、受光部 11 で検知する検知光量の変化が、図 6 に示す理想的な変化線 (i) に沿うことができずに、変動量  $\delta 1$ ,  $\delta 2$  が発生して破線の変化線 (i i) のような変化を示すことになる。

[0058] ただし、基板 6 や半導体層 7 からのレーザ光の乱反射条件などが変化しても、図 5 に示すように、光の波長と透過率との関係およびそのときの温度との関係は、同じ材料の半導体層に同じ波長のレーザ光を照射している限り同じである。したがって、変化線 (i) が減衰始点 (a) のときと、変化線 (i i) が減衰始点 (c) のときとで、半導体層 7 の温度は共に  $T 1$  であり、変化線 (i) が減衰終点 (b) のときと、変化線 (i i) が減衰終点 (d) のときとで、半導体層 7 の温度は共に  $T 2$  である。

[0059] すなわち、半導体層 7 の光の透過率は、温度と波長が同じであれば、変化することがないが、光の透過率以外の要素である乱反射条件などの種々の光学的条件が変化すると、受光部 11 でのレーザ光の乱反射光の検知光量が変動することになる。

[0060] 図 6 に示すように、波長  $\lambda 1$  の単一のレーザ光を使用した温度測定方法において、成膜されている半導体層 7 の温度を減衰終点の温度  $T 2$  よりも高い値まで一気に上昇させて、図 6 に示す変化線を得ることができれば、その後は、検知光量  $D a$  をモニターすることで、半導体層 7 の  $T 1$  と  $T 2$  との間の温度を算出することができる。例えば、半導体層 7 の温度を  $T 2$  を超えるまで上昇させて、変化線 (i) における極大値  $D 2$  と極小値  $D 1$  と温度  $T 2$ ,  $T 1$  との関係が取得された後であれば、検知光量のモニター値  $D a$  から、そのときの半導体層 7 の温度  $T x$  を次の式で算出できる。

$$T x = T 1 + (T 2 - T 1) \times \{ (D 2 - D a) / (D 2 - D 1) \}$$

[0061] しかし、温度を  $T 2$  まで上昇させず、 $(T 2 - T 1)$  と  $(D 2 - D 1)$  の関係が解かっていない状態では、成膜中の温度のモニター値から、 $T 2$  と  $T 1$  との間の温度  $T x$  を算出することができず、半導体層 7 の温度を前記温度  $T x$  に維持させる制御はできない。

- [0062] しかし、本発明の実施の形態の測定装置 20 を用いた半導体層の温度測定方法では、波長が相違する少なくとも 2 種類のレーザ光を使用することで、半導体層 7 の温度を  $T_2$  を超える値まで上昇させなくても、受光部 11 におけるレーザ光の検知光量のモニター値から、 $T_2$  と  $T_1$  との間の温度  $T_x$  を即座に算出することができる。
- [0063] 図 1 に示す成膜装置 1 では、図 2 に示す発光装置 21 の第 1 のレーザ光源 22 から第 1 の波長のレーザ光  $L_1$  が発せられ、第 2 の光源 23 から第 2 の波長のレーザ光  $L_2$  が発せられて、それぞれのレーザ光  $L_1$ 、 $L_2$  が同じ経路  $L_d$  を通過して半導体層 7 に与えられる。
- [0064] 図 7 の変化線 (i i i) は、第 1 の波長のレーザ光  $L_1$  が基板 6 上の半導体層 7 に与えられて、乱反射光  $R_1$ 、 $R_2$  が受光部 11 で受光されたときの、検知光量と半導体層 7 の温度との関係を示し、変化線 (i v) は、第 2 の波長のレーザ光  $L_2$  が基板 6 上の半導体層 7 に与えられて、乱反射光  $R_1$ 、 $R_2$  が受光部 11 で受光されたときの、検知光量と半導体層 7 の温度との関係を示している。
- [0065] 第 1 の波長のレーザ光  $L_1$  は、減衰始点 (e) のときの半導体層 7 の温度が  $T_3$  であり、減衰終点 (f) のときの温度が  $T_4$  となるように、その波長が選択される。第 2 の波長のレーザ光  $L_2$  は、減衰始点 (g) での温度が  $T_5$  であり、減衰終点 (h) での温度が  $T_6$  となるように、その波長が選択される。温度  $T_3$  から  $T_4$  の間、第 1 の波長のレーザ光  $L_1$  の光の透過量が減衰する第 1 の温度範囲であり、 $T_5$  から  $T_6$  の間、第 2 の波長のレーザ光  $L_2$  の光の透過量が減衰する第 2 の温度範囲である。第 2 の温度範囲は第 1 の温度範囲よりも、温度が高い領域となっている。
- [0066] 図 5 に示すように、半導体層 7 はその材料の種類ごとに、温度に対する透過率と波長との関係が決まっているため、半導体層 7 の材料に応じて第 1 の波長のレーザ光  $L_1$  の波長を選択することで第 1 の温度範囲を設定でき、材料に応じて第 2 の波長のレーザ光  $L_2$  の波長を選択することで第 2 の温度範囲を設定できる。

- [0067] 第1の波長のレーザ光L1と第2の波長のレーザ光L2は、同じ経路Ldから半導体層7に与えられるため、基板6の底面6aの乱反射面の影響や、半導体層7の表面7aの面粗さの影響、さらには垂線Lvに対する半導体層7の表面7aの対向角度の誤差などの、光の透過や反射に関する影響を、第1の波長のレーザ光L1と第2の波長のレーザ光L2とで同等に受けることになる。すなわち、図6に示す変動量 $\delta 1$ 、 $\delta 2$ が検知光量に占める比率は、第1の波長のレーザ光L1と第2の波長のレーザ光L2とで同じである。
- [0068] したがって、発光装置21における第1の波長のレーザ光L1の発光強度と第2の波長のレーザ光L2の発光強度とが等しく、受光部11での第1の波長のレーザ光L1の受光感度と第2の波長のレーザ光L2の受光感度とが等しければ、図7に示すように、第1の波長のレーザ光L1の極大値の検知光量と、第2の波長のレーザ光L2の極大値の検知光量とが共に同じD4になり、第1の波長のレーザ光L1の減衰量と第2の波長のレーザ光L2の減衰量が共に同じ(D4-D3)となるはずである。
- [0069] ただし、実際には、2つのレーザ光に発光強度のばらつきがあり、それぞれのレーザ光の受光感度にもばらつきが生じるため、成膜装置1を始動するときにはイニシャライズ操作を行うことが必要となる。
- [0070] イニシャライズ操作の一例としては、予めサンプル用の半導体層が成膜された基板6をチャンバ2内のテーブル3上に設置し、パイロメータ10で温度をモニターしながら、基板6と半導体層7の温度を徐々に上昇させ、第1の波長のレーザ光L1と第2の波長のレーザ光L2をサンプル用の半導体層に与える。温度が第1の温度範囲(T3-T4)を超えたときの、第1の波長のレーザ光L1の検知光量の変化と、温度が第2の温度範囲(T5-T6)を超えたときの、第2の波長のレーザ光L2の検知光量の変化を測定する。この測定値に基づいて、第1の温度範囲での第1の波長のレーザ光L1の検知光量の減衰幅と、第2の温度範囲での第2の波長のレーザ光の検知光量の減衰幅とが同じとなるように、回路上の調整を行い、またはソフトウェア上で較正が行われる。

[0071] 他のイニシャライズ操作として、チャンバ2内の透明な基板6に半導体層7が成膜されていない状態で、図2に示す第1のレーザ光源22を点灯させて、基板6の底面6aや基板6の表面から乱反射された第1の波長のレーザ光L1を受光部11で検知する。次に、第2のレーザ光源23を点灯して、基板6の底面6aや基板6の表面から乱反射された第2の波長のレーザ光L2を受光部11で検知する。そして、第1のレーザ光源22を点灯したときの検知光量と、第2のレーザ光源23を点灯したときの検知光量とが同じレベルとなるように、回路路上またはソフトウェア上で較正してもよい。

[0072] 前記イニシャライズ操作を行った成膜装置1では、半導体層7の温度を図7に示すT6よりも高い温度に一度も上昇させることなく、受光部11でのレーザ光の検知光量のモニター値から、第2の温度範囲である温度T5と温度T6の間の温度Tyを即時に算出することが可能である。

[0073] 図7に示すように、半導体層7の温度を上昇させて行くと、変化線(i i)で示すように、第1の波長のレーザ光L1の検知光量が減衰始点(e)を超えて減衰終点(f)に至る。この時点では、変化線(i v)で示すように、第2の波長のレーザ光L2の検知光量は減衰していない。第1の波長のレーザ光L1の検知光量が減衰終点(f)を超えたときに、第1の波長のレーザ光L1の検知光量の減衰量(D4-D3)が、受光部11に備えられた処理回路部12で検出され、温度検出装置33を介して中央制御装置30に送られて保持される。

[0074] その後、半導体層7の温度を上げて行くと、第2の波長のレーザ光L2の検知光量が減衰始点(g)に至り、その後は、検知光量が減衰していく。このとき、第1の波長のレーザ光L1の検知光量の減衰幅(D4-D3)が知られているため、中央制御装置30では、第2の波長のレーザ光L2の検知光量が減衰始点(g)を超えた後で且つ減衰終点(h)に至る前のモニター値Dbと、第1の波長のレーザ光L1の減衰幅(D4-D3)とから、半導体層7の温度Tyを以下の式で算出することができる。

$$T_y = T_5 + (T_6 - T_5) \times \{ (D_4 - D_b) / (D_4 - D_3) \}$$

- [0075] すなわち、半導体層 7 の測定時の温度を、（第 2 の範囲の極大値の温度）  
+（第 2 の範囲の温度差）× {（第 2 の波長の光の透過量の減衰始点から測定時までの減衰量）／（第 1 の波長の光に関する検知光量の減衰幅）} から算出することができる。
- [0076] したがって、半導体層 7 の温度が上昇しているときに、第 2 の波長のレーザ光 L 2 が減衰始点（g）を超えたのちの温度をモニターすることで、半導体層 7 の温度を T 5 から温度 T 6 の間の温度 T y に制御することが可能である。
- [0077] 第 2 の波長のレーザ光 L 2 を半導体層 7 に照射したときの、光の透過率とそのときの温度との関係は、半導体材料とレーザ光 L 2 の波長との関係で設定できる。例えば、半導体層 7 が GaN（窒化ガリウム）の場合であって、第 2 の波長のレーザ光 L 2 の波長として 445 nm を選択すると、減衰始点（g）での温度 T 5 を約 800℃ で減衰終点（h）での温度 T 6 を約 900℃ に設定できる。このケースでは、半導体層 7 の成膜温度を、800℃ から 900℃ の間の所定の温度となるように常に制御することができる。
- [0078] なお、第 1 の波長のレーザ光 L 1 の波長は、減衰終点（f）の温度 T 4 が、第 2 の波長のレーザ光 L 2 の減衰始点（g）の温度 T 5 よりも低い限りにおいて、比較的広い選択幅の中から決めることができる。
- [0079] 図 1 に示す成膜装置 1 は、温度変化測定装置の一例としてパイロメータ 10 によって基板 6 および半導体層 7 の表面から発せられる赤外線が検出され、赤外線の検知出力が温度検出装置 33 に送られて、半導体層 7 の温度が間接的に測定されている。この赤外線の検知による得られた温度情報と、第 1 の波長のレーザ光 L 1 と第 2 の波長のレーザ光 L 2 を用いて算出した温度と比較して、赤外線の検知で得られたパイロメータ 10 の温度情報を較正することができる。または、第 1 の波長のレーザ光 L 1 と第 2 の波長のレーザ光 L 2 を用いて算出した温度と、赤外線の検知で得られた温度情報の双方を使用することで、さらに精度の高い温度制御を行うことが可能になる。
- [0080] 図 8 は、成膜装置 1 で半導体層 7 を成膜している途中で、半導体層 7 の温

度を第2の温度範囲 ( $T_6 - T_5$ ) 内の所定の温度  $T_y$  となるように制御する温度制御方法を示している。

[0081] 図8では、基板6の上に成膜されている半導体層7の温度変化が破線Tで示されている。第1の波長のレーザ光L1が受光部11で検知される検知光量の変化が変化線(v)で示され、第2の波長のレーザ光L2が受光部11で検知される検知光量の変化が変化線(vi)で示されている。

[0082] チャンバ2内に材料ガス5が導入されて半導体層7が成膜されているときに、ヒータ3aを調整すると、半導体層7の温度Tが上昇していく。時刻 $\tau_a$ で第1の波長のレーザ光L1の検知光量が減衰始点(k)に至り、その後、減衰終点(m)となって、半導体層7の温度が第1の温度範囲を超えたときの第1の波長のレーザ光L1の減衰幅( $D_6 - D_5$ )が求められる。

[0083] さらに、基板6および半導体層7の温度が上昇して、第2の波長のレーザ光L2の検知光量が減衰始点(n)を越えたら、その後は、受光部11で随時検知されている第2の波長のレーザ光L2の受光量のモニター値と、既に測定された第1の波長のレーザ光L1の減衰幅( $D_6 - D_5$ )とから、半導体層7の実際の温度を即座に算出することができる。したがって、時刻 $\tau_b$ において、第2の波長のレーザ光L2の検知光量が $D_6$ と $D_5$ の中間の $D_c$ となった後に、加熱制御装置31でヒータ3aを制御して、検知光量のモニター値が $D_c$ を維持させれば、半導体層7の温度を成膜に最適となる第2の温度範囲 ( $T_5 - T_6$ ) 内の温度  $T_y$  に設定し続けることが可能である。

[0084] 図8に示すように、第1の波長のレーザ光L1の検知光量の減衰幅( $D_6 - D_5$ )が測定された後は、第2の波長のレーザ光L2の検知光量をモニターすることで、半導体層7の温度を第2の温度範囲を超えるまで高くしなくても、半導体層7の温度を成膜に最適となる温度  $T_y$  に設定することができる。

[0085] 図9と図10は、時刻 $\tau_b$ の後で、半導体層7の温度が最適値  $T_y$  となるように制御されている途中で、受光素子11で検知された検知光量に変化が生じたケースを示している。

[0086] 図9に示すケースでは、時刻 $\tau b$ の後の温度制御動作中に、第2の波長のレーザ光L2の検知光量が $Dc$ で安定せずに $\alpha$ で示すように変動している。このとき、第1の波長のレーザ光L1の検知光量も極小値 $D5$ で安定しておらず、前記 $\alpha$ と同様の変動 $\beta$ が発生している。このように、第1の波長のレーザ光L1の検知光量と、第2の波長のレーザ光L2の検知光量とが同じように変動したときは、半導体層7の表面7aの面粗さが変化して乱反射光R2が変化するなどして、半導体層7へのレーザ光の入射条件や反射条件が変化していると判定できる。

[0087] これに対し、図10に示すように、第2の波長のレーザ光L2の検知光量に変動 $\alpha$ が発生したときに、第1の波長のレーザ光L1の検知光量が減衰終点(m)を超えた後に大きな変化を示していなければ、2つの波長のレーザ光に対する光の透過条件や反射条件に変化があったのではなく、半導体層7の温度に変化 $Tz$ が発生した結果であると判定できる。

[0088] すなわち、第1の波長のレーザ光L1の検知光量が減衰終点(m)を超えた後は、第1の波長のレーザ光L1の検知光量と、第2の波長のレーザ光L2の検知光量の双方を監視することで、半導体層7の温度が変化したのか、半導体層7に光学的な変化が生じたのかを判別することができる。

[0089] 例えば、半導体層7が成膜していく途中で、表面7aの一部が蒸発して、面が粗くなり、表面7aでの乱反射光R2が増大することがあるが、前記監視によりこのような現象を知ることができ、原料ガス5の導入量や加熱温度を制御することで、表面7aの面粗れが生じるのを抑制することができる。あるいは、半導体層7の表面7aに故意に面粗れを生じさせる制御も可能になる。

[0090] さらに、第1の波長のレーザ光L1の検知光量の変化 $\alpha$ と第2の波長のレーザ光L2の検知光量の変化 $\beta$ の少なくとも一方と、半導体層7の表面7aの面粗度の大きさや面粗度の許容量などとの関係を予め定量的に把握し、その関数を中央制御装置30に保持させておくことで、図9に示すような検知光量の変化 $\alpha$ 、 $\beta$ が現れたときに、半導体層7の表面7aの面粗さを求める

ことができる。例えば、検知光量の極大値  $D_6$  と変化  $\alpha$ ,  $\beta$  の大きさとの比率、または検知光量の変動幅 ( $D_6 - D_5$ ) と変化  $\alpha$ ,  $\beta$  の大きさとの比率などから、半導体層 7 の表面 7 a の面粗さの大きさを求めることができる。これにより、実際の面粗さの大きさを数値として推定することもできるし、または面粗さが許容値内であるか否かの比較のおおまかな判定に使用することもできる。

[0091] なお、本発明の温度測定装置および温度測定方法として、図 1 と同様に光検出装置 10 を基板 6 の表面側に対向させ、ただし、2つの波長のレーザ光  $L_1$ ,  $L_2$  を発する発光装置 21 を基板 6 の裏面に対向させる構造とすることが可能である。この場合は、第 1 の波長のレーザ光  $L_1$  と第 2 の波長のレーザ光  $L_2$  が、基板 6 の底面 6 a に入射して基板 6 を透過しさらに半導体層 7 を透過して受光部 11 で受光される。

[0092] この場合も、第 1 の実施の形態と同様に、2つの波長のレーザ光  $L_1$ ,  $L_2$  を使用することで、半導体層 7 の表面の面粗さなど、半導体層の光の透過率の変化以外の光学的な変化をキャンセルして、半導体層 7 の温度を随時測定することができる。

### 符号の説明

- [0093] 1 成膜装置  
2 チャンバ  
3 テーブル  
6 基板  
7 半導体層  
8 第 1 の窓  
9 第 2 の窓  
10 パイロメータ  
11 受光部  
13 第 1 の受光素子  
14 第 2 の受光素子

- 1 5 波長フィルタ
- 1 6 光検出装置
- 2 0 温度測定装置
- 2 1 発光装置
- 2 2 第 1 のレーザ光源
- 2 3 第 2 のレーザ光源
- L 1 第 1 の波長のレーザ光
- L 2 第 2 の波長のレーザ光
- T 3 - T 4 第 1 の温度範囲
- T 5 - T 6 第 2 の温度範囲
- ( e ) ( g ) 減衰始点
- ( f ) ( h ) 減衰終点

## 請求の範囲

[請求項1] チャンバ内で成膜されている半導体層の温度を測定する温度測定方法において、

半導体層の温度が上昇して第1の範囲の温度になると前記半導体層に対する透過率が減衰する第1の波長の光と、前記半導体層の温度が前記第1の範囲よりも高い第2の範囲になると前記半導体層に対する光の透過率が減衰する第2の波長の光とを使用し、

第1の波長の光と第2の波長を同じ経路に沿って前記半導体層に与えるとともに、前記半導体に対向する光検出装置で前記第1の波長の光と前記第2の波長の光量を検知し、

前記半導体層の温度が前記第1の範囲を超えて上昇して第1の波長の光の検知光量が減衰した後で、さらに第2の波長の光の検知光量が減衰し始めた後の測定時に、その測定時の第2の波長の検知光量と、第1の波長の光の検知光量の減衰幅とから、半導体層の前記第2の範囲内の温度を算出することを特徴とする半導体層の温度測定方法。

[請求項2] 前記半導体層の前記測定時の温度を、 $(\text{第2の範囲の極大値の温度}) + (\text{第2の範囲の温度差}) \times \{ (\text{第2の波長の光の検知光量の減衰始点から測定時までの減衰量}) / (\text{第1の波長の光の検知光量の減衰幅}) \}$  から算出する請求項1記載の半導体層の温度測定方法。

[請求項3] 前記基板上に半導体層が成膜されている途中の前記測定時に得られた第2の波長の光の検知光量と、第1の波長の光の検知光量の減衰幅とから、成膜途中の半導体層の温度を算出して、その温度が前記第2の範囲内の所定値となるように前記基板の加熱温度を制御する請求項1または2記載の半導体層の温度測定方法。

[請求項4] 前記チャンバ内に設けられた透明基板を加熱しながら原料分子を供給して前記基板上に半導体層を成膜し、

前記半導体層の表面に第1の波長の光と第2の波長の光を与え、前記半導体層の表面に対向する前記光検出装置で、前記半導体層の内部

を通過する乱反射光と前記半導体層の表面で反射される乱反射光とを検知する請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の半導体層の温度測定方法。

[請求項5] 半導体層から発せられる赤外線を測定して半導体層の温度を測定する温度変化測定装置を使用し、前記測定時に算出された前記第 2 の範囲内の温度で、前記温度変化測定装置の測定誤差を校正する請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の半導体層の温度測定方法。

[請求項6] チャンバ内で成膜されている半導体層の温度を測定する温度測定方法において、

半導体層の温度が上昇して第 1 の範囲の温度になると前記半導体層に対する透過率が減衰する第 1 の波長の光と、前記半導体層の温度が前記第 1 の範囲よりも高い第 2 の範囲になると前記半導体層に対する光の透過率が減衰する第 2 の波長の光とを使用し、

第 1 の波長の光と第 2 の波長を同じ経路に沿って前記半導体層に与えるとともに、前記半導体に対向する光検出装置で前記第 1 の波長の光と前記第 2 の波長の光量を検知し、

前記半導体層の温度が前記第 1 の範囲を超えて上昇して第 1 の波長の光の検知光量が減衰した後に、第 2 の波長の光の検知光量を監視し、第 2 の波長の光の検知光量が変化したら、そのときの第 1 の波長の光の検知光量の変化を参照して、第 2 の波長の光の検知光量の変化が、半導体層の温度変化によるものかそれ以外の要因によるものであるかを判定することを特徴とする半導体層の温度測定方法。

[請求項7] 第 2 の波長の光の検知光量が変化したときに、第 1 の波長の光検知光量も変化したら、第 2 の波長の光の検知光量の変化が、半導体層の温度変化以外の要因によるものであると判定する請求項 6 記載の半導体層の温度測定方法。

[請求項8] 第 1 の波長の光の検知光量の変化と第 2 の波長の光の検知光量の変化との少なくとも一方から、半導体層の表面粗さを求める請求項 7 記

載の半導体層の温度測定方法。

[請求項9] 第2の波長の光の検知光量が変化しているときに、第1の波長の光の検知光量が変化しないときは、第2の波長の光の検知光量の変化が、半導体層の温度変化によるものであると判定する請求項6記載の半導体層の温度測定方法。

[請求項10] 前記チャンバ内に設けられた透明基板を加熱しながら原料分子を供給して前記基板上に半導体層を成膜し、

前記半導体層の表面に第1の波長の光と第2の波長の光を与え、前記半導体層の表面に対向する前記光検出装置で、前記半導体層の内部を通過する乱反射光と前記半導体層の表面で反射される乱反射光とを検知する請求項6ないし9のいずれかに記載の半導体層の温度測定方法。

[請求項11] チャンバ内で成膜されている半導体層の温度を測定する温度測定装置において、

半導体層の温度が上昇して第1の範囲の温度になると前記半導体層に対する透過率が減衰する第1の波長の光と、前記半導体層の温度が前記第1の範囲よりも高い第2の範囲になると前記半導体層に対する光の透過率が減衰する第2の波長の光とを与える発光装置と、

第1の波長の光と第2の波長の光を検知する光検出装置とが設けられ、

前記発光装置と前記光検出装置が半導体の表面に対向して、第1の波長の光と第2の波長の光が同じ経路に沿って前記表面に与えられ、前記半導体層の内部を通過する乱反射光と前記表面からの乱反射光とが前記光検出装置で検知され、

前記光検出装置で検知された第1の波長の光の検知光量と第2の波長の光の検知光量とから、前記半導体層の温度を算出する制御装置が設けられていることを特徴とする半導体層の温度測定装置。

[請求項12] 前記制御装置では、前記半導体層の温度が前記第1の範囲を超えて

上昇して第1の波長の光の検知光量が減衰した後で、さらに第2の波長の光の検知光量が減衰し始めた後の測定時に、その測定時の第2の波長の検知光量と、第1の波長の光の検知光量の減衰幅とから、半導体層の前記第2の範囲内での温度が算出される請求項11記載の半導体層の温度測定装置。

[請求項13] 前記制御装置では、前記半導体層の温度が前記第1の範囲を超えて上昇して第1の波長の光の検知光量が減衰した後に、第2の波長の光の検知光量を監視し、第2の波長の光の検知光量に変化したら、そのときの第1の波長の光の検知光量の変化を参照して、第2の波長の光の検知光量の変化が、半導体層の温度変化によるものかそれ以外の要因によるものであるが判定される請求項11記載の半導体層の温度測定装置。

[請求項14] 前記制御部では、第2の波長の光の検知光量と第1の波長の光の検知光量が共に変化したときに、  
第1の波長の光の検知光量の変化と第2の波長の光の検知光量の少なくとも一方から、半導体層の表面粗さが算出される請求項13記載の半導体層の温度測定装置。

**補正された請求の範囲**  
**[2012年8月3日(03.08.2012)国際事務局受理]**

[請求項 1] チャンバ内で成膜されている半導体層の温度を測定する温度測定方法において、

半導体層の温度が上昇して第 1 の範囲の温度になると前記半導体層に対する透過率が減衰する第 1 の波長の光と、前記半導体層の温度が前記第 1 の範囲よりも高い第 2 の範囲になると前記半導体層に対する光の透過率が減衰する第 2 の波長の光とを使用し、

第 1 の波長の光と第 2 の波長を同じ経路に沿って前記半導体層に与えるとともに、前記半導体に対向する光検出装置で前記第 1 の波長の光と前記第 2 の波長の光量を検知し、

前記半導体層の温度が前記第 1 の範囲を超えて上昇して第 1 の波長の光の検知光量が減衰した後で、さらに第 2 の波長の光の検知光量が減衰し始めた後の測定時に、その測定時の第 2 の波長の検知光量と、第 1 の波長の光の検知光量の減衰幅とから、半導体層の前記第 2 の範囲内での温度を算出することを特徴とする半導体層の温度測定方法。

[請求項 2] 前記半導体層の前記測定時の温度を、 $(\text{第 2 の範囲の極大値の温度}) + (\text{第 2 の範囲の温度差}) \times \{(\text{第 2 の波長の光の検知光量の減衰始点から測定時までの減衰量}) / (\text{第 1 の波長の光の検知光量の減衰幅})\}$  から算出する請求項 1 記載の半導体層の温度測定方法。

[請求項 3] 前記基板上に半導体層が成膜されている途中の前記測定時に得られた第 2 の波長の光の検知光量と、第 1 の波長の光の検知光量の減衰幅とから、成膜途中の半導体層の温度を算出して、その温度が前記第 2 の範囲内の所定値となるように前記基板の加熱温度を制御する請求項 1 または 2 記載の半導体層の温度測定方法。

[請求項 4] 前記チャンバ内に設けられた透明基板を加熱しながら原料分子を供給して前記基板上に半導体層を成膜し、

前記半導体層の表面に第 1 の波長の光と第 2 の波長の光を与え、前記半導体層の表面に対向する前記光検出装置で、前記半導体層の内部を通過する乱反射光と前記半導体層の表面で反射される乱反射光とを検知する請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の半導体層の温度測定方法。

[請求項 5] 半導体層から発せられる赤外線を測定して半導体層の温度を測定する温度変化測定装置を使用し、前記測定時に算出された前記第 2 の範囲内の温度で、前記温度変化測定装置の測定誤差を較正する請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の半導体層の温度測定方法。

[請求項 6] チャンバ内で成膜されている半導体層の温度を測定する温度測定方法において、

半導体層の温度が上昇して第 1 の範囲の温度になると前記半導体層に対する透過率が減衰する第 1 の波長の光と、前記半導体層の温度が前記第 1 の範囲よりも高い第 2 の範囲になると前記半導体層に対する光の透過率が減衰する第 2 の波長の光とを使用し、

第 1 の波長の光と第 2 の波長を同じ経路に沿って前記半導体層に与えるとともに、前記半導体に対向する光検出装置で前記第 1 の波長の光と前記第 2 の波長の光量を検知し、

前記半導体層の温度が前記第 1 の範囲を超えて上昇して第 1 の波長の光の検知光量が減衰した後に、第 2 の波長の光の検知光量を監視し、第 2 の波長の光の検知光量に変化したら、そのときの第 1 の波長の光の検知光量の変化を参照して、第 2 の波長の光の検知光量の変化が、半導体層の温度変化によるものかそれ以外の要因によるものであるかを判定することを特徴とす

る半導体層の温度測定方法。

[請求項 7] 第 2 の波長の光の検知光量が変化したときに、第 1 の波長の光検知光量も変化したら、第 2 の波長の光の検知光量の変化が、半導体層の温度変化以外の要因によるものであると判定する請求項 6 記載の半導体層の温度測定方法。

[請求項 8] 第 1 の波長の光の検知光量の変化と第 2 の波長の光の検知光量の変化との少なくとも一方から、半導体層の表面粗さを求める請求項 7 記載の半導体層の温度測定方法。

[請求項 9] 第 2 の波長の光の検知光量が変化しているときに、第 1 の波長の光の検知光量が変化しないときは、第 2 の波長の光の検知光量の変化が、半導体層の温度変化によるものであると判定する請求項 6 記載の半導体層の温度測定方法。

[請求項 10] 前記チャンバ内に設けられた透明基板を加熱しながら原料分子を供給して前記基板上に半導体層を成膜し、

前記半導体層の表面に第 1 の波長の光と第 2 の波長の光を与え、前記半導体層の表面に対向する前記光検出装置で、前記半導体層の内部を通過する乱反射光と前記半導体層の表面で反射される乱反射光とを検知する請求項 6 ないし 9 のいずれかに記載の半導体層の温度測定方法。

[請求項 11] (補正後) チャンバ内で成膜されている半導体層の温度を測定する温度測定装置において、

半導体層の温度が上昇して第 1 の範囲の温度になると前記半導体層に対する透過率が減衰する第 1 の波長の光と、前記半導体層の温度が前記第 1 の範囲よりも高い第 2 の範囲になると前記半導体層に対する光の透過率が減衰する第 2 の波長の光とを与える発光装置と、

第 1 の波長の光と第 2 の波長の光を検知する光検出装置とが設けられ、

前記発光装置と前記光検出装置が半導体の表面に対向して、第1の波長の光と第2の波長の光が同じ経路に沿って前記表面に与えられ、前記半導体層の内部を通過する乱反射光と前記表面からの乱反射光とが前記光検出装置で検知され、

前記光検出装置で検知された第1の波長の光の検知光量と第2の波長の光の検知光量とから、前記半導体層の温度を算出する制御装置が設けられており、

前記制御装置では、前記半導体層の温度が前記第1の範囲を超えて上昇して第1の波長の光の検知光量が減衰した後で、さらに第2の波長の光の検知光量が減衰し始めた後の測定時に、その測定時の第2の波長の検知光量と、第1の波長の光の検知光量の減衰幅とから、半導体層の前記第2の範囲内での温度が算出されていることを特徴とする半導体層の温度測定装置。

[請求項12] (削除)

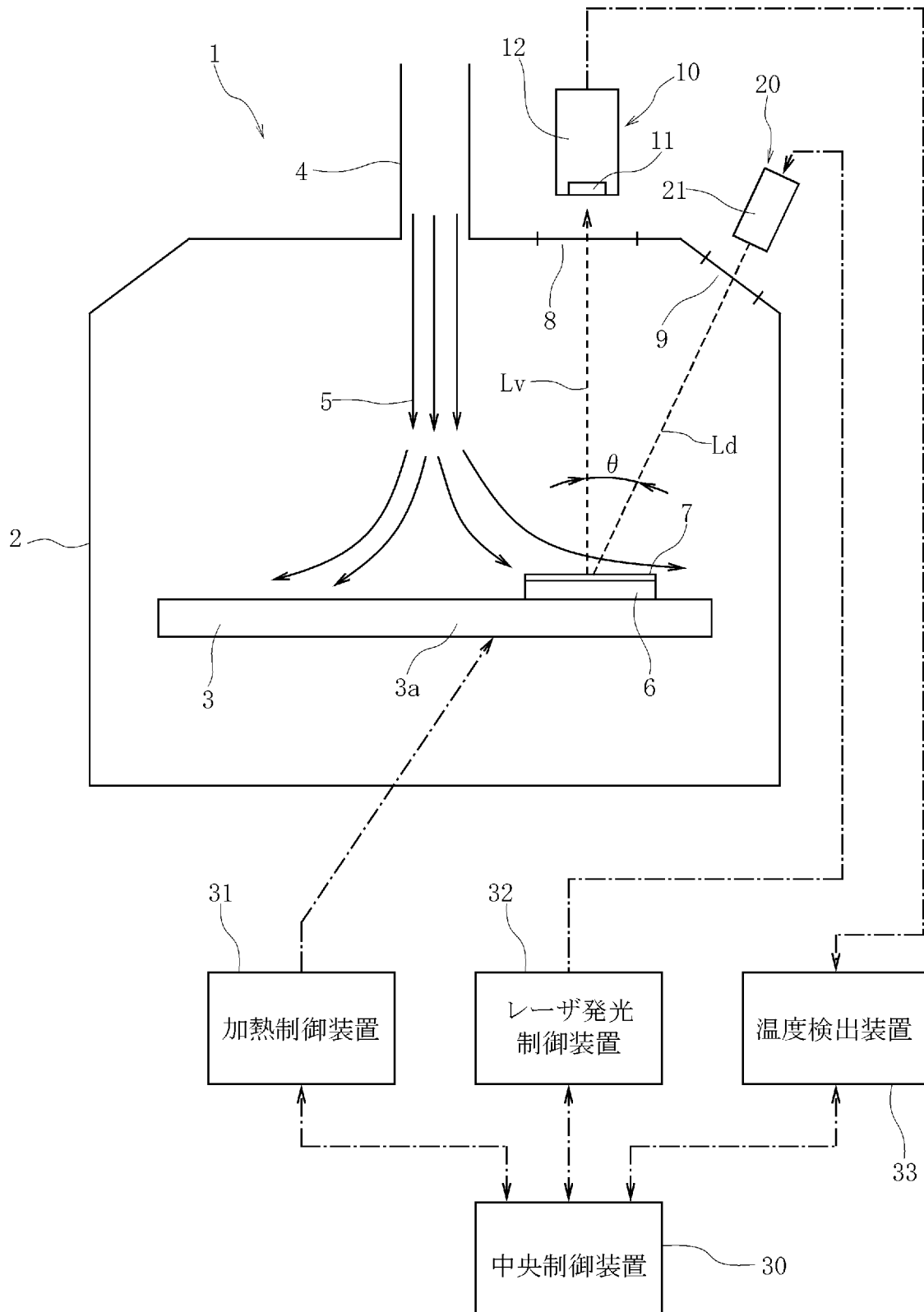
[請求項13] 前記制御装置では、前記半導体層の温度が前記第1の範囲を超えて上昇して第1の波長の光の検知光量が減衰した後に、第2の波長の光の検知光量を監視し、第2の波長の光の検知光量に変化したら、そのときの第1の波長の光の検知光量の変化を参照して、第2の波長の光の検知光量の変化が、半導体層の温度変化によるものかそれ以外の要因によるものであるが判定される請求項11記載の半導体層の温度測定装置。

[請求項14] 前記制御部では、第2の波長の光の検知光量と第1の波長の光の検知光量が共に変化したときに、

第1の波長の光の検知光量の変化と第2の波長の光の検知光量の少なくとも一方から、半導体層の表面粗さが算出される請求項13記載の半導体層の温度測定装置。

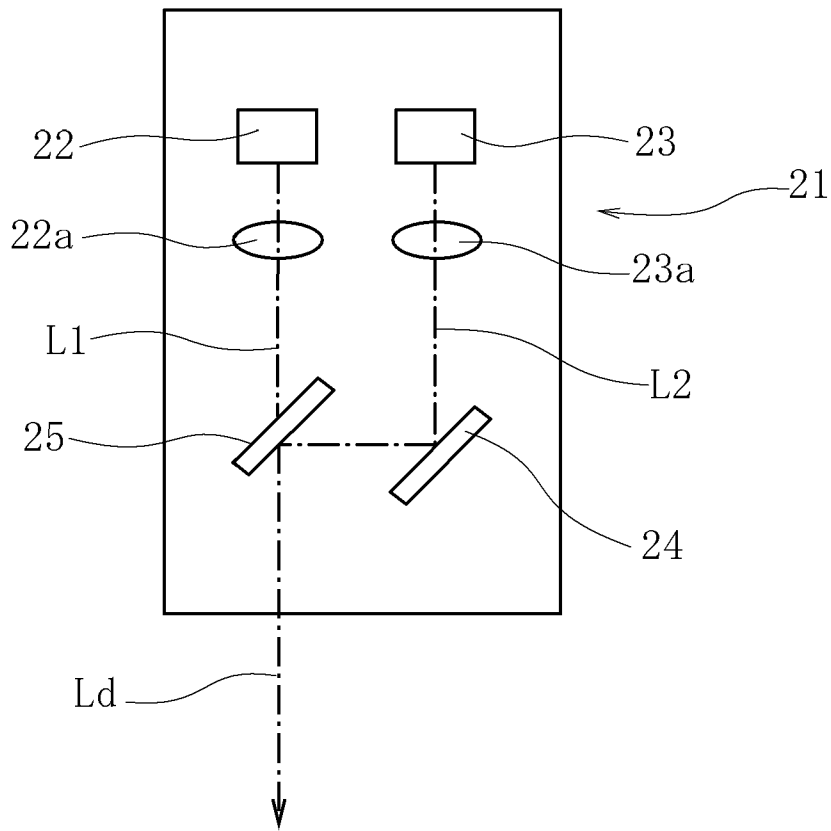
[図1]

[図1]



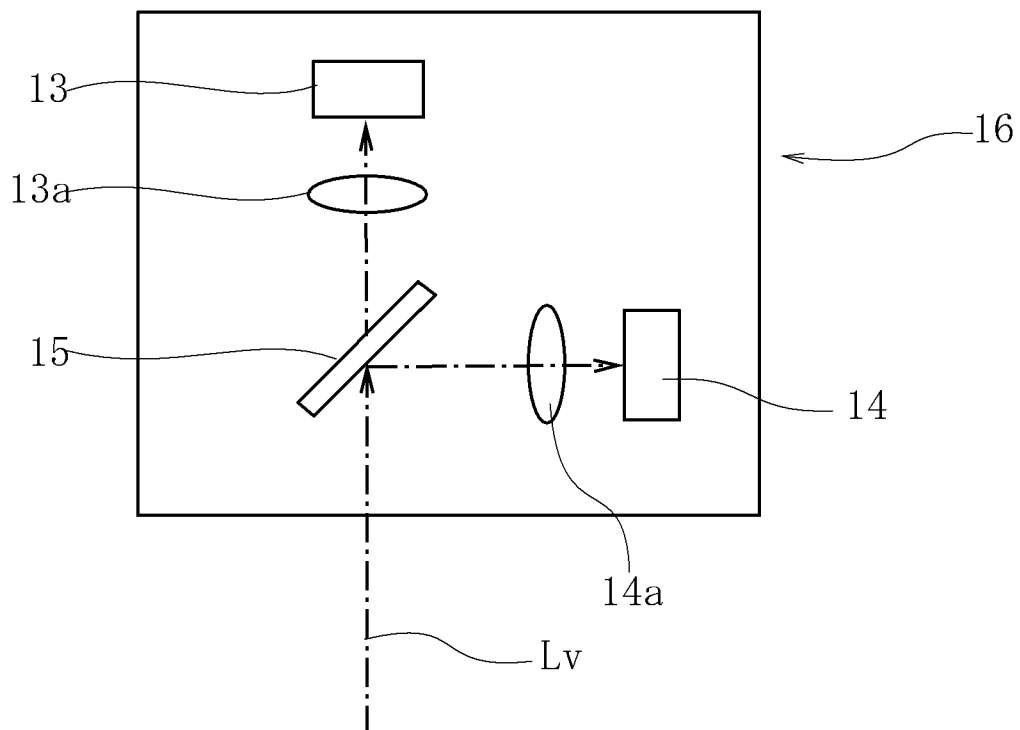
[図2]

図2



[図3]

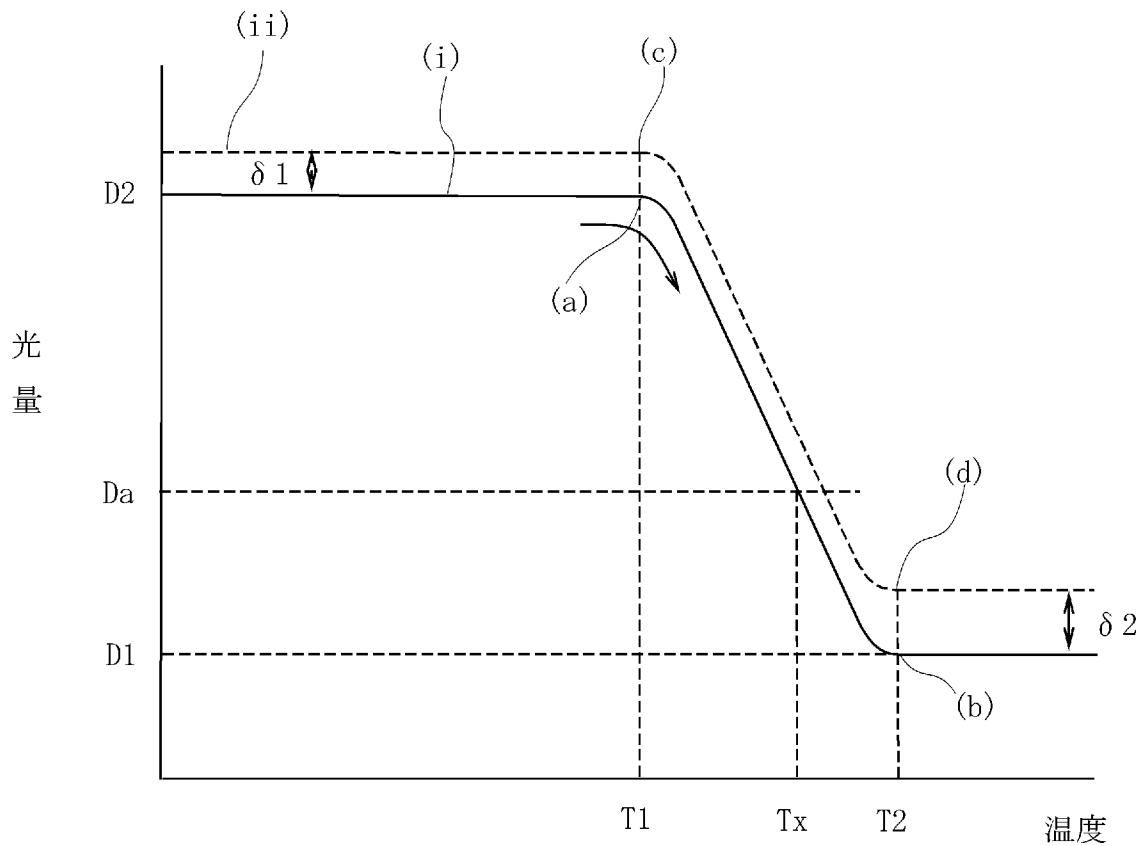
図3





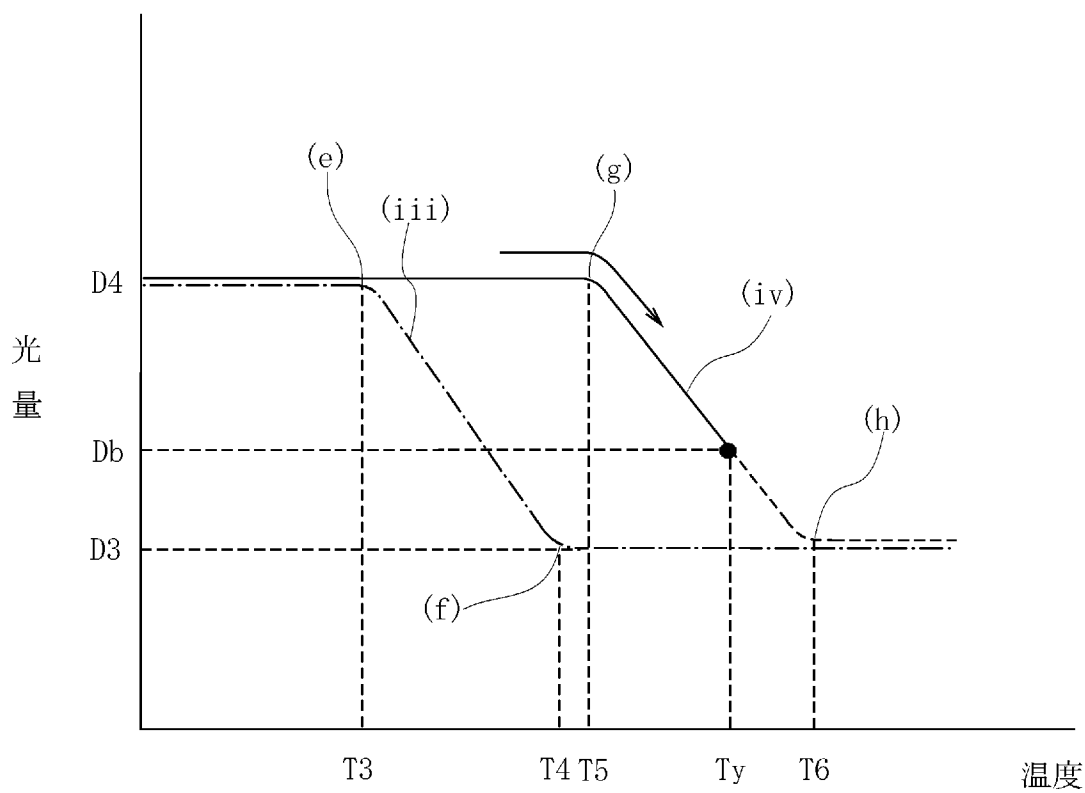
[図6]

図6



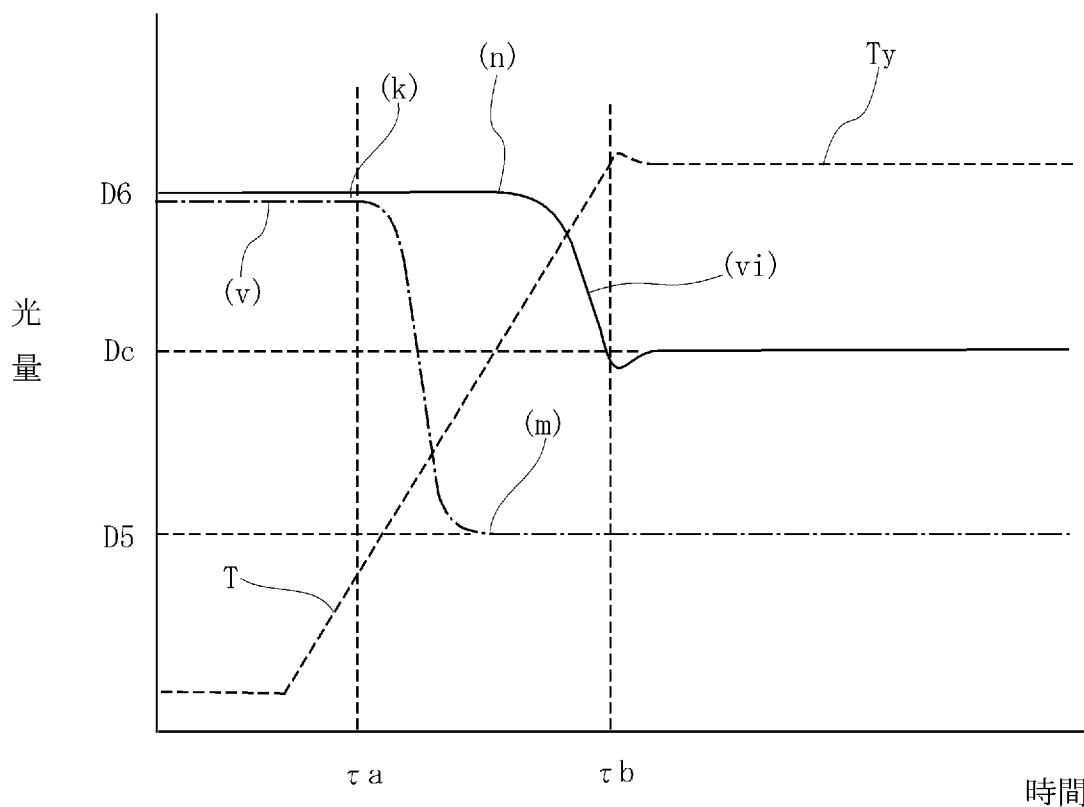
[図7]

図7



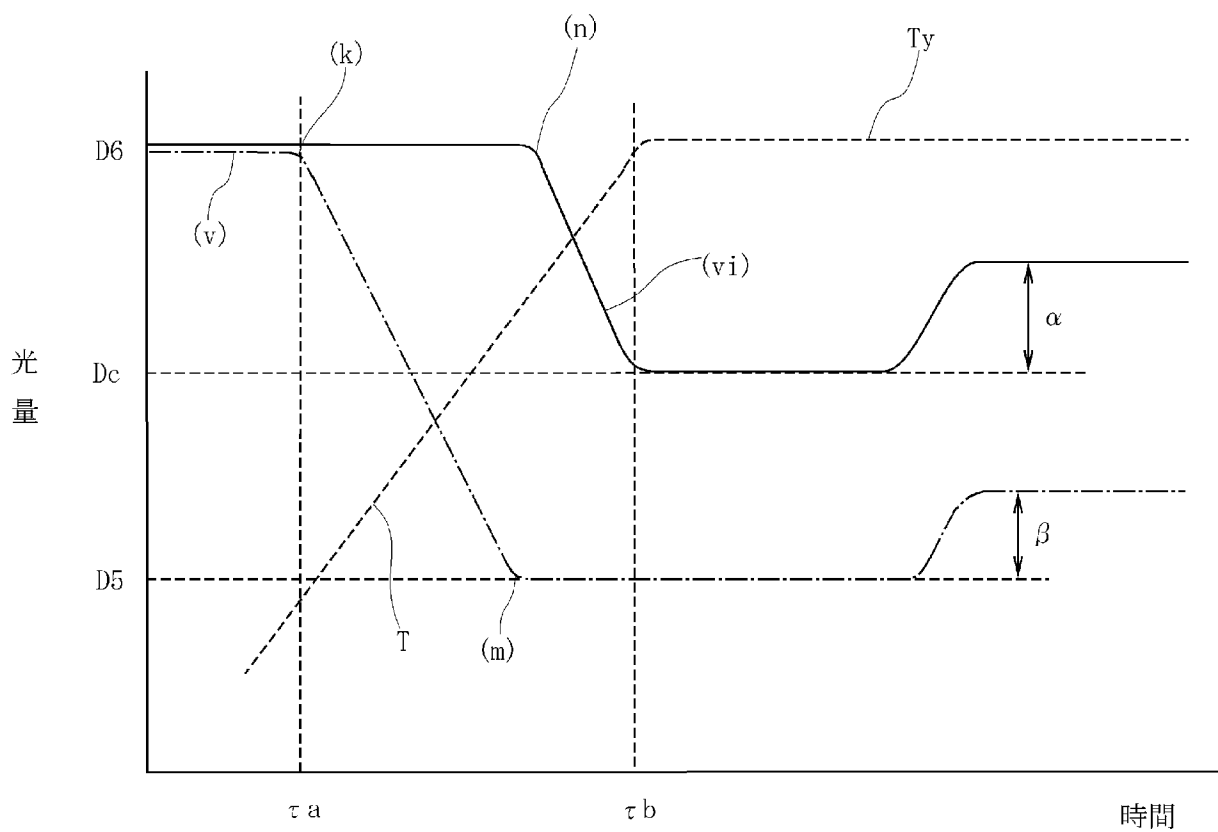
[図8]

図8



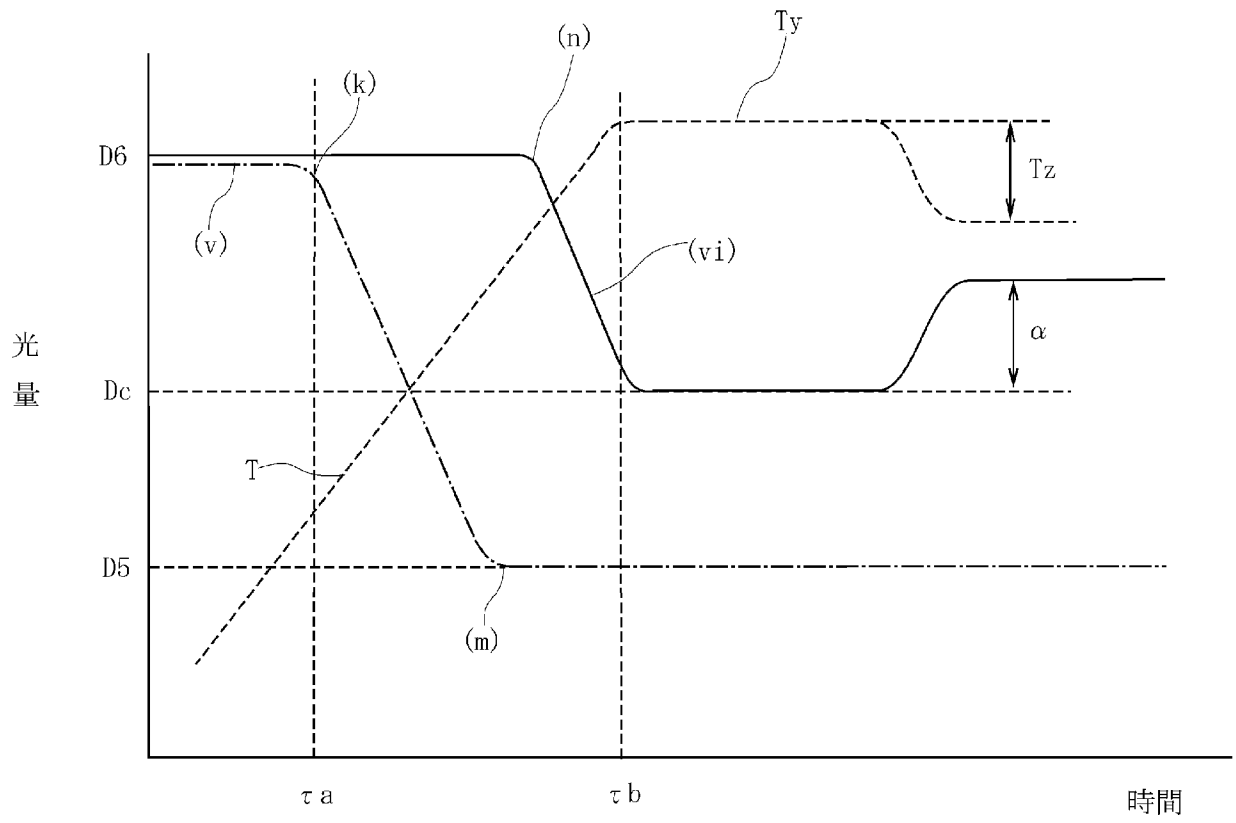
[図9]

図9



[図10]

図10



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/067678

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01K11/12(2006.01) i, H01L21/205(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01K11/12, H01L21/205, G01J5/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO 2010/073358 A1 (YSystems Ltd.), 01 July 2010 (01.07.2010), entire text; all drawings (Family: none)	11 1-10, 12-14
Y A	JP 3-216526 A (Research Corporation Technologies Inc.), 24 September 1991 (24.09.1991), entire text; all drawings & GB 9025353 A0 & EP 429081 A3 & FR 2656690 A & CA 2030572 A	11 1-10, 12-14
A	JP 2003-519380 A (Tokyo Electron Ltd.), 17 June 2003 (17.06.2003), entire text; all drawings & US 6891124 B2 & WO 2001/050109 A2 & AU 3084101 A & TW 505950 B	1-14

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
30 August, 2011 (30.08.11)Date of mailing of the international search report  
13 September, 2011 (13.09.11)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. G01K11/12(2006.01)i, H01L21/205(2006.01)i

B. 調査を行った分野  
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. G01K11/12, H01L21/205, G01J5/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの  
 日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2011年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2011年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2011年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	WO 2010/073358 A1 (有限会社ワイ・システムズ) 2010.07.01, 全文、 全図 (ファミリーなし)	11 1-10, 12-14
Y A	JP 3-216526 A (リサーチ・コーポレーション・テクノロジーズ・イ ンコーポレーテッド) 1991.09.24, 全文、全図 & GB 9025353 A0 & EP 429081 A3 & FR 2656690 A & CA 2030572 A	11 1-10, 12-14

C欄の続きにも文献が列挙されている。  パテントファミリーに関する別紙を参照。

<p>* 引用文献のカテゴリー                  「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの                  「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの                  「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)                  「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献                  「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</p>	<p>の日の後に公表された文献                  「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの                  「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの                  「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの                  「&amp;」同一パテントファミリー文献</p>
--	---

国際調査を完了した日 30.08.2011	国際調査報告の発送日 13.09.2011
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 関根 裕 電話番号 03-3581-1101 内線 3216

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2003-519380 A (東京エレクトロン株式会社) 2003.06.17, 全文、 全図 & US 6891124 B2 & WO 2001/050109 A2 & AU 3084101 A & TW 505950 B	1-14